

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 885**

51 Int. Cl.:

C22C 38/16	(2006.01)
C22C 38/14	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)
C21D 8/00	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/08	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.11.2015 PCT/CN2015/093743**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16095616**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2015 E 15869126 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 3235921**

54 Título: **Plancha de acero de buena resistencia a la fatiga y crecimiento de grietas y método de fabricación de la misma**

30 Prioridad:

19.12.2014 CN 201410815614

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

18.03.2021

73 Titular/es:

**BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD. (100.0%)
No. 885 Fujin Road, Baoshan District
Shanghai 201900, CN**

72 Inventor/es:

**LIU, ZICHENG y
SHI, QING**

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 812 885 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Plancha de acero de buena resistencia a la fatiga y crecimiento de grietas y método de fabricación de la misma

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a una plancha de acero que tiene excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga y a un método para fabricar la misma, siendo la plancha de acero una plancha resistente al crecimiento de grietas por fatiga que tiene una resistencia mecánica al alargamiento ≥ 385 MPa, una resistencia mecánica a la tracción de 520-630 MPa, una energía de impacto de Charpy (un solo valor) a $-40^{\circ}\text{C} \geq 80$ J, y una excelente soldabilidad ($da/dN \leq 3,0 \times 10^{-8}$ en las condiciones de $\Delta K = 8$ MPa·m^{1/2}).

Técnica anterior

15 Tal como se conoce bien, un acero bajo en carbono (alta resistencia mecánica) y de baja aleación es uno de los materiales estructurales para ingeniería más importantes y se usa ampliamente en tuberías de petróleo y gas natural, plataformas oceánicas, construcción naval, estructuras de puentes, calderas y recipientes a presión, estructuras de edificios, industria del automóvil, transporte por ferrocarril y fabricación de maquinaria. Las prestaciones del acero bajo en carbono (alta resistencia mecánica) y de baja aleación dependen de su composición química y del sistema de proceso en el procedimiento de fabricación, en el que la resistencia mecánica, la tenacidad y la soldabilidad son las propiedades más importantes del acero bajo en carbono (alta resistencia mecánica) y de baja aleación, y se determinan en última instancia por el estado de microestructura del acero terminado. Con el desarrollo progresivo continuo de la ciencia y la tecnología, se proponen mayores requisitos en la resistencia mecánica-tenacidad y soldabilidad del acero, es decir, se mejoran las propiedades mecánicas totales y la capacidad de uso de la plancha de acero a la vez que se mantiene un coste de fabricación más bajo para reducir la cantidad de acero para ahorrar costes, reducir el peso corporal de un componente de acero, y proporcionar estabilidad y seguridad. Actualmente se ha alcanzado un punto álgido en la investigación para desarrollar una nueva generación de materiales de acero de altas prestaciones en todo el mundo, en el que mediante el diseño de la combinación de aleaciones, la tecnología innovadora de laminación controlada/TMCP y un procedimiento de tratamiento térmico para obtener una mejor compatibilización de microestructura, se dota a una plancha de acero de resistencia mecánica-tenacidad más excelente, compatibilización de resistencia mecánica-plasticidad, resistencia a la corrosión por agua de mar, soldabilidad más excelente y resistencia a la fatiga. Puesto que la tecnología mencionada anteriormente se usa en la plancha de acero de la invención, se desarrolla a bajo coste una plancha de acero gruesa resistente al crecimiento de grietas por fatiga que tiene resistencia mecánica-tenacidad y compatibilización de resistencia mecánica-plasticidad y excelente soldabilidad.

La microestructuras de las planchas de acero gruesas existentes con una resistencia mecánica al alargamiento ≥ 415 MPa incluyen principalmente ferrita + perlita, o ferrita + perlita (incluyendo perlita metamórfica) + una pequeña cantidad de bainita; los procedimientos de producción incluyen normalización, laminación de normalización, laminación termomecánica y TMCP; la resistencia mecánica, la tenacidad a (ultra-)baja temperatura, la soldabilidad, y las características de procesamiento en frío y caliente de los aceros son todas ellas relativamente excelentes, y las planchas de acero son muy adecuadas en estructuras de edificios, estructuras de puentes, estructuras de cascos de barcos, plataformas oceánicas y otras estructuras de acero grandes y pesadas. (The Firth (1986) international Symposium and Exhibit on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1986, Tokio, Japón, 354; "Steel plates for offshore platform structures used in ice sea areas" (en japonés), Research on Iron and Steel, 1984, n.º 314, 19-43; y patente estadounidense 4629505, documento WO 01/59167 A1); sin embargo, no se hace referencia a la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de las planchas de acero.

Las planchas de acero gruesas FCA con excelente soldabilidad, resistencia al crecimiento de grietas por fatiga y un grado de resistencia mecánica al alargamiento de 355 MPa desarrolladas satisfactoriamente por Japan Sumitomo Metal (tal como la "plancha de acero que inhibe el crecimiento de grietas por fatiga" dada a conocer en la solicitud de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 3298544; las "planchas de acero gruesas con excelentes propiedades de inhibición del crecimiento de grietas por fatiga" dadas a conocer en la solicitud de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 10-60575) han logrado buenos resultados prácticos y suministro en grandes cantidades; sin embargo, el desarrollo de las planchas de acero no hace referencia a planchas de acero con grosor de mayor calidad de resistencia mecánica. Además, los documentos WO 2009/06683 A1, JP H07 278664 A y JPH11302776 A dan a conocer planchas de acero con una composición química y una estructura similares a las de la plancha de acero de la invención, pero no hacen referencia a la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga.

60 **Sumario de la invención**

Un objeto de la presente invención es proporcionar una plancha de acero que tiene excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga y un método para fabricar la misma, siendo la plancha de acero una plancha de acero resistente al crecimiento de grietas por fatiga, que tiene una resistencia mecánica al alargamiento ≥ 385 MPa, una resistencia mecánica a la tracción de 520-630 MPa, una energía de impacto de Charpy (un solo valor) a $-40^{\circ}\text{C} \geq$

80 J, y una excelente soldabilidad ($da/dN \leq 3,0 \times 10^{-8}$ en las condiciones de $\Delta K = 8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), siendo la microestructura de la plancha de acero terminada una estructura de fase doble de ferrita + bainita distribuida de manera uniforme y dispersa y teniendo un tamaño de grano promedio de $10 \mu\text{m}$ o menos. Las características obtenidas de alta resistencia mecánica, alta tenacidad, excelente soldabilidad y resistencia al crecimiento de grietas por fatiga pueden aplicarse en particular a estructuras de cascos de barcos, plataformas oceánicas, estructuras de puentes, estructuras de edificios, estructuras de torres eólicas marinas, maquinarias marinas y similares en zonas en mares helados y pueden lograr producciones industriales en grandes cantidades, estables y a bajo coste.

Las planchas de acero resistentes al crecimiento de grietas por fatiga son uno de los tipos más difíciles entre los productos de plancha gruesa, y el motivo es que este tipo de plancha de acero no sólo requiere un contenido de C ultra-bajo, carbono equivalente C_{eq} bajo, alta resistencia mecánica y excelente tenacidad a baja temperatura, sino que también debe tener excelentes características de resistencia a la fatiga, especialmente la plancha de acero debe poder resistir la fatiga y el crecimiento de grietas, logrando flexión y pasivación de grietas por fatiga, mejorando las propiedades de resistencia a la fatiga de la plancha de acero, lo que por tanto requiere una determinada cantidad, una razón de dureza (bainita/ferrita) y bainita distribuida uniformemente; cómo lograr la estructura de dos fases de bainita + ferrita (F + B) y controlar la cantidad, dureza, morfología y distribución de la bainita para lograr un equilibrio entre el contenido de C ultra bajo y carbono equivalente C_{eq} bajo y las propiedades de alta resistencia mecánica, excelente tenacidad a baja temperatura y excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga es una de las mayores dificultades para el producto de la presente invención y es también una tecnología central clave; por tanto, en lo que se refiere a la ruta técnica clave, la composición y el diseño del proceso, la invención integra factores claves que afectan a la resistencia mecánica, la tenacidad a baja temperatura, la soldabilidad, especialmente la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga y otras características de una plancha de acero, y evita satisfactoriamente el bloqueo técnico en patentes de la Sumitomo Corporation, en el que se optimiza el procedimiento de TMCP partiendo del diseño de la composición de aleación, usando creativamente acero de baja aleación basado en contenido de carbono ultra-bajo - Si alto - Mn medio - Nb como base, en el que $[\%C] \times [\%Si]$ se controla entre $0,022$ y $0,042$, $\{([\%C] + 3,33[\%Nb]) \times [\%Si]\} \times V_{\text{tasa de enfriamiento}}/T_{\text{detención de enfriamiento}}$ se controla entre $1,15 \times 10^{-4}$ y $2,2 \times 10^{-3}$, y se lleva a cabo un tratamiento de Ca, controlándose la razón Ca/S a entre $1,0$ y $3,0$ y $(\%Ca) \times (\%S)^{0,28} \leq 1,0 \times 10^{-3}$, de modo que la microestructura de la plancha de acero terminada es una estructura de fase doble de ferrita + bainita distribuida de manera uniforme y dispersa y tiene un tamaño de grano promedio de $10 \mu\text{m}$ o menos.

Con el fin de lograr el objeto mencionado anteriormente, la solución técnica de la presente invención es:

Una plancha de acero que tiene excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga según la reivindicación 1.

$[\%C] \times [\%Si]$ se controla a de $0,022$ a $0,042$; y A) la zona de temperatura de transición de fase de temperatura media se expande, y se promueve la formación de la estructura de fase compleja de ferrita + bainita; B) se controla la segregación del desbaste plano en el proceso de solidificación para garantizar las "tres propiedades (integridad, homogeneidad y pureza) de calidad intrínseca de la plancha de acero; y C) se inhibe la precipitación de carburo en el proceso de transición de fases de austenita a ferrita y se promueve la transición de fases por separación de dos fases de ferrita + bainita (F + B), para formar una estructura de fase doble de ferrita + bainita; en el que los tres puntos anteriores pueden mejorar la capacidad de inhibición del crecimiento de grietas por fatiga (en el que en el cálculo, $[\%C]$ y $[\%Si]$ representa una sustitución directa con valores numéricos, por ejemplo, si se toma $0,04$ para C y se toma $0,70$ para Si, entonces $[\%C] \times [\%Si] = 0,04 \times 0,70 = 0,028$, a continuación en el presente documento inclusivo)

$\{([\%C] + 3,33[\%Nb]) \times [\%Si]\} \times V_{\text{tasa de enfriamiento}}/T_{\text{detención de enfriamiento}}$ se controla en un intervalo de $1,15 \times 10^{-4}$ a $2,2 \times 10^{-3}$, en la que $V_{\text{tasa de enfriamiento}}$ es la tasa promedio de enfriamiento acelerado en un procedimiento de laminación controlada y enfriamiento controlado (TMCP), en unidad K/s; $T_{\text{detención de enfriamiento}}$ es la temperatura de detención de enfriamiento del enfriamiento acelerado en el procedimiento de laminación controlada y enfriamiento controlado (TMCP), en unidad K; con el procedimiento de TMCP garantizado, se forma una estructura de dos fases de bainita + ferrita (F + B); y lo que es más importante, la cantidad, el tamaño, la morfología y la dureza de la bainita satisfacen todos ellos las características de inhibición del crecimiento de grietas por fatiga:

A) cuando una grieta por fatiga crece para dar lugar a bainita, se producen flexión y torsión, forzando el consumo de más energía en el proceso de crecimiento de grietas por fatiga, mejorando de ese modo la capacidad de inhibición de crecimiento de grietas por fatiga; y

B) cuando la grieta por fatiga crece para dar lugar a bainita, las dislocaciones en una zona plástica con punta de grieta reacciona con dislocaciones en la bainita (cancelación y recombinación de dislocaciones), reduciendo el factor de intensidad del campo de tensión de la punta de grieta por fatiga, promoviendo la pasivación de la punta de grieta por fatiga y suprimiendo el crecimiento adicional de la grieta por fatiga.

Se lleva a cabo un tratamiento con Ca, controlándose la razón Ca/S a entre $1,0$ y $3,0$ y $Ca \times S^{0,28} \leq 1,0 \times 10^{-3}$: las partículas de $\text{Ca}(\text{O},\text{S})$ se distribuyen de manera uniforme y fina en el acero, se afina el tamaño de grano de la

plancha de acero, se mejora la propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de la plancha de acero, y se inhibe el crecimiento de grano de austenita en una zona afectada por calor de soldadura, mejorando la soldabilidad de la plancha de acero, a la vez que se garantiza que el sulfuro se transforma en esferoidal y se minimizan los efectos de las inclusiones sobre la tenacidad a baja temperatura y la soldabilidad.

En el diseño del sistema de composición de la plancha de acero de la presente invención, como elemento de aleación importante en el acero, el C desempeña un papel importante en mejorar la resistencia mecánica de la plancha de acero y promover la formación de una bainita de segunda fase, de modo que el acero contiene necesariamente una cantidad determinada de C; sin embargo, cuando el contenido de C en el acero es demasiado alto, se deteriora la segregación interna en la plancha de acero (especialmente en el caso de alto contenido de Si), y se reducen la tenacidad a baja temperatura y la soldabilidad de la plancha de acero, lo que resulta adverso para el control de la dureza, la morfología y la cantidad y la distribución de la bainita de segunda fase, y se deterioran gravemente las propiedades de soldabilidad, tenacidad a baja temperatura y resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de la plancha de acero; por tanto, se controla el contenido de C adecuado en un intervalo del 0,040% al 0,070%.

El Si no sólo mejora la resistencia mecánica de la plancha de acero, sino que lo que también es más importante, el Si expande la zona de transición de fases de temperatura media, inhibe la precipitación de carburos, facilita la formación de las dos fases de ferrita + bainita (F + B), facilita el control de la cantidad, la morfología, la dureza y la distribución de bainita, y por tanto el Si es un elemento de aleación indispensable para las planchas de acero resistentes al crecimiento de grietas por fatiga; sin embargo, cuando el contenido de Si del acero es demasiado alto, se deteriorarán gravemente la segregación, la tenacidad a baja temperatura y la soldabilidad de la plancha de acero; por tanto, se controla el contenido adecuado de Si en un intervalo del 0,40% al 0,70%.

Además de mejorar la resistencia mecánica de la plancha de acero, el Mn es el elemento de aleación más importante en el acero que tiene un efecto adicional de expandir la zona de fase de austenita, disminuir la temperatura de punto de Ar_3 y afinar los grupos de granos de bainita en la plancha de acero mediante TMCP, mejorando de ese modo la tenacidad a baja temperatura de la plancha de acero, facilitando la formación de bainita; sin embargo, hay propensión a que se produzca segregación de Mn durante la solidificación del acero fundido; en especial cuando el contenido de Mn es mayor, lo que no sólo puede provocar una dificultad en las operaciones de colada, sino que también da como resultado fácilmente un fenómeno de segregación del conjugado con C, P, S y otros elementos, y especialmente cuando el contenido de C en el acero es mayor, la segregación y el aflojamiento en la parte central del desbaste plano de colada se agravan y la grave segregación en la zona central del desbaste plano de colada provoca la formación de estructuras anómalas en los procesos posteriores de laminación, tratamiento térmico y soldadura, lo que conduce al deterioro de la tenacidad a baja temperatura de la plancha de acero, la aparición de grietas en puntos de soldadura y una baja capacidad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga; por tanto, el contenido adecuado de Mn es del 1,30% al 1,60%.

El P, como inclusión perjudicial en el acero, tiene un impacto muy perjudicial sobre las propiedades de tenacidad al impacto a baja temperatura, la elongación, la soldabilidad y la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga del acero, y teóricamente se requiere que sea lo más bajo posible; sin embargo, teniendo en cuenta la operabilidad de la producción de acero y el coste de la producción de acero, se controla el contenido de P a \leq el 0,013%.

El S, como inclusión perjudicial (principalmente como sulfuros largos de tipo tiras) en el acero, tiene un gran impacto de daño sobre las propiedades de tenacidad a baja temperatura y resistencia al crecimiento de grietas por fatiga; y lo que es más importante, el S se une al Mn en el acero para formar inclusiones de MnS, y en el proceso de laminación en caliente, la plasticidad del MnS permite que el MnS se extienda en la dirección de laminación para formar cintas de inclusiones de MnS en la dirección de laminación, lo que daña gravemente la tenacidad al impacto a baja temperatura, la propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga, las propiedades de elongación y dirección Z y la soldabilidad de la plancha de acero; además, el S también es el principal elemento para la producción de fragilidad en caliente en el proceso de laminación en caliente y se requiere teóricamente que sea lo más bajo posible; sin embargo, teniendo en cuenta la operabilidad de la producción de acero, el coste de la producción de acero y el principio de flujo de materiales uniforme, se controla el contenido de S a \leq el 0,0030%.

En la presente invención, según el grosor de la plancha de acero, puede añadirse Cu, Ni y Mo en cantidades adecuadas, es decir, \leq el 0,30% de Cu, \leq el 0,30% de Ni y \leq el 0,10% de Mo, para facilitar la formación de bainita en el procedimiento de TMCP, y se controlan la cantidad, la morfología, la condición de distribución y la dureza de bainita para mejorar la resistencia mecánica, la tenacidad a baja temperatura y la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga propiedades.

La afinidad entre el Ti y el N es muy grande; cuando se añade Ti en una cantidad pequeña, el N se une preferiblemente al Ti para producir partículas de TiN distribuidas de manera dispersa, suprimiendo el crecimiento excesivo de granos de austenita en los procesos de calentamiento de desbaste plano y laminación en caliente, mejorando la tenacidad a baja temperatura de la plancha de acero; y lo que es más importante, se suprime el crecimiento de granos en la zona afectada por calor (una región lejos de la línea de fusión) en el proceso de soldadura de alto aporte de calor hasta un cierto punto, mejorando la tenacidad en la zona afectada por el calor; hay

poco efecto cuando el contenido de Ti añadido es demasiado pequeño (el 0,008%); cuando el contenido de Ti añadido supera el 0,018%, un aumento adicional en el contenido de Ti en el acero tiene poco efecto tanto en el afino de los granos de la plancha de acero como en la mejora del efecto de la soldabilidad de la plancha de acero, e incluso cuando Ti/N es demasiado grande, la adición de Ti resulta adversa para el afino de los granos en la plancha de acero e incluso deteriora la soldabilidad de la plancha de acero; por tanto, un contenido adecuado de Ti está en un intervalo del 0,008% al 0,018%.

El fin de añadir una cantidad traza del elemento Nb al acero es llevar a cabo laminación controlada sin recristalización, promover la formación de bainita, afinar la microestructura de la plancha de acero, mejorar la resistencia mecánica y la tenacidad de la plancha de acero mediante TMCP, y mejorar la propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de la plancha de acero; cuando la cantidad de adición de Nb es menor del 0,015%, el efecto de laminación controlada puede no funcionar eficazmente; además la capacidad de la formación de bainita en la plancha de acero mediante TMCP es menor, y la capacidad de reforzamiento de transición de fase también es deficiente; y cuando la cantidad de adición de Nb supera el 0,030%, la soldabilidad de la plancha de acero resulta dañada gravemente; por tanto, el contenido de Nb se controla a entre el 0,015% y el 0,030%.

El intervalo de control de N corresponde al intervalo de control de Ti, y con el fin de mejorar el efecto de afino de grano para la plancha de acero y mejorar la soldabilidad de la plancha de acero, Ti/N es de manera óptima de entre 1,5 y 3,5. Cuando el contenido de N es demasiado bajo y el contenido de Ti es demasiado alto, las partículas de TiN generadas están en pequeño número y son de gran tamaño, lo que no puede tener un efecto de mejora de la soldabilidad y el afino de grano del acero, y por el contrario, es perjudicial para la soldabilidad y el afino de grano de la plancha de acero; sin embargo, cuando el contenido de N es demasiado alto, el contenido de [N] libre en el acero aumenta, y especialmente en condiciones de soldadura de alto aporte de energía, el contenido de [N] libre en la zona afectada por el calor (HAZ) aumenta bruscamente, lo que daña gravemente la tenacidad a baja temperatura de HAZ y deteriora la soldabilidad del acero; además, cuando el contenido de N es mayor, las grietas en la superficie del desbaste plano son graves, lo que conduce a raspado del desbaste plano en los casos graves. Por tanto, el contenido de N se controla a \leq el 0,0040%.

El acero se somete a tratamiento de Ca que, por una parte, puede purificar adicionalmente el acero fundido, y por otra parte puede realizar un tratamiento desnaturalizante sobre los sulfuros en el acero, haciendo que los mismos se vuelvan sulfuros esféricos no deformables, estables y finos, inhibiendo la fragilidad en caliente del S, mejorando la tenacidad a baja temperatura de la plancha de acero, mejorando la propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga, las propiedades de elongación y dirección Z de la plancha de acero, y mejorando la anisotropía de la tenacidad de la plancha de acero. La cantidad de adición de Ca depende del contenido de S en el acero, en el que cuando la cantidad de adición de Ca es demasiado baja, el efecto de tratamiento no será significativo; y cuando la cantidad de adición de Ca es demasiado alto, el Ca(O,S) formado tiene un tamaño excesivamente grande y la fragilidad también aumenta, y puede convertirse en un punto de partida de una grieta de fractura, reduciendo no sólo la tenacidad a baja temperatura y la elongación de la plancha de acero, sino reduciendo también la pureza del acero, contaminando el acero fundido y deteriorando la propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de la plancha de acero; por tanto, un contenido adecuado de Ca está en un intervalo del 0,0010% al 0,0040%.

El método para fabricar una plancha de acero con excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de la presente invención es según la reivindicación 2:

En el método de fabricación de la presente invención:

Según los intervalos de contenido de C, Mn, Nb y Ti en la composición de acero, la temperatura de calentamiento del desbaste plano se controla a entre 1050°C y 1130°C, de modo que los granos de austenita en el desbaste plano no crezcan de manera anómala, aunque garantizando la disolución sólida completa del Nb en el acero para dar austenita en el proceso de calentamiento de desbaste plano.

La razón de compresión total (grosor del desbaste plano/grosor de la plancha de acero terminada) de la plancha de acero es $\geq 4,0$, lo que garantiza que se produce deformación por laminación incluso en el núcleo de la plancha de acero para mejorar la microestructura y las propiedades de la parte central de la plancha de acero.

La primera etapa es la laminación normal, en la que se lleva a cabo laminación incesante continua dentro de la capacidad de laminación de un tren de laminación, garantizando que se produzca la recristalización en el desbaste plano de acero deformado, refinando los granos de austenita, al tiempo que se aumenta de manera máxima la capacidad de producción de la línea de laminación.

La segunda etapa se lleva a cabo usando laminación controlada sin recristalización, en la que según el intervalo de contenido del elemento Nb en el acero mencionado anteriormente, se controla la temperatura de laminación de partida a 780-840°C, la tasa de reducción de pasada de laminación es \geq el 7%, la tasa de reducción acumulada es \geq el 60% y la temperatura de laminación de acabado es de 760-800°C, con el fin de controlar el efecto de la laminación controlada sin cristalización.

La presente invención tiene los siguientes efectos beneficiosos:

La plancha de acero de la presente invención se obtiene mediante un diseño de combinación de componentes sencillo conjuntamente con el procedimiento de fabricación de TMCP, que no sólo produce una plancha de acero mediante TMCP resistente al crecimiento de grietas por fatiga con excelentes prestaciones totales a bajo coste, sino que también acorta sustancialmente el ciclo de fabricación de la plancha de acero, creando un valor tremendo para las empresas, logrando un procedimiento de fabricación ecológico y respetuoso con el medio ambiente. Las altas prestaciones y el alto valor añadido de la plancha de acero se concentran en que la plancha de acero tiene una alta resistencia mecánica y una excelente tenacidad a baja temperatura y soldabilidad, y especialmente en que la plancha de acero tiene una excelente capacidad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga, logrando un bajo coste de aleación y un bajo coste en los procedimientos de fabricación, y resolviendo satisfactoriamente un problema en la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de estructuras de acero grandes y pesadas, garantizando por tanto la seguridad y la fiabilidad de las estructuras de acero en el proceso de un servicio a largo plazo; y una buena soldabilidad ahorra el coste de fabricación de un componente de acero para un usuario, reduce la dificultad de obtención del componente y acorta el tiempo de fabricación del componente de acero para el usuario, creando un gran valor para el usuario, y por tanto para un producto de plancha de acero de este tipo tanto con alto valor añadido como con una propiedad de ser ecológico y respetuoso con el medio ambiente.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es la microestructura (grosor de 1/4) del ejemplo 3 de la plancha de acero de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones

La presente invención se ilustra adicionalmente a continuación conjuntamente con ejemplos y dibujos.

Los componentes de los ejemplos de acero de la presente invención se muestran en la tabla 1, y las tablas 2 y 3 se refieren al procedimiento para la fabricación de ejemplos de acero de la presente invención. La tabla 4 muestra las propiedades de las planchas de acero de la presente invención.

Tal como puede observarse a partir de la tabla 4 y la figura 1, la plancha de acero resistente al crecimiento de grietas por fatiga de la presente invención tiene una resistencia mecánica al alargamiento ≥ 385 MPa, una resistencia mecánica a la tracción de 520-630 MPa, una energía de impacto de Charpy (un solo valor) a $-40^{\circ}\text{C} \geq 80$ J, y una excelente soldabilidad ($da/dN \leq 3,0 \times 10^{-8}$ en las condiciones de $\Delta K = 8$ MPa·m^{1/2}), siendo la microestructura de la plancha de acero terminada una estructura de fase doble de ferrita + bainita distribuida de manera uniforme y dispersa y que tiene un tamaño de grano promedio de 10 μm o menos.

La plancha de acero de la presente invención se obtiene mediante un diseño de combinación de componentes sencillo conjuntamente con el procedimiento de fabricación de TMCP, que no sólo produce una plancha de acero resistente al crecimiento de grietas por fatiga (FCA) con excelentes prestaciones totales a bajo coste, sino que también acorta sustancialmente el ciclo de fabricación de la plancha de acero, creando un valor tremendo para las empresas, logrando un procedimiento de fabricación ecológico y respetuoso con el medio ambiente. Las altas prestaciones y el alto valor añadido de la plancha de acero se concentran en que la plancha de acero tiene una alta resistencia mecánica y una excelente tenacidad a baja temperatura y soldabilidad, y especialmente en que la plancha de acero tiene una excelente capacidad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga, logrando un bajo coste de aleación y un bajo coste en los procedimientos de fabricación, y resolviendo satisfactoriamente un problema en la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga de estructuras de acero grandes y pesadas, garantizando por tanto la seguridad y fiabilidad de las estructuras de acero en el proceso de un servicio a largo plazo; y una buena soldabilidad ahorra el coste de fabricación de un componente de acero para un usuario, reduce la dificultad de obtención de componentes, y acorta el tiempo de fabricación del componente de acero para el usuario, creando un gran valor para el usuario, y por tanto para un producto de plancha de acero de este tipo tanto con alto valor añadido como con una propiedad de ser ecológico y respetuoso con el medio ambiente.

La plancha de acero de la presente invención se usa principalmente para estructuras de cascos de barcos, plataformas oceánicas, puentes sobre el mar, estructuras de torres eólicas marinas, maquinaria de puertos y otras grandes estructuras de acero pesadas, y puede lograr producciones industriales en grandes cantidades, estables y a bajo coste.

Con el desarrollo de la economía nacional en China y las necesidades de construir una sociedad armoniosa orientada hacia la conservación, se ha incluido en la agenda el desarrollo marino, y en la actualidad, la construcción de ingeniería marina y sus industrias de fabricación de equipos relacionados en China, están en ascenso, por lo que un material crítico para la construcción de ingeniería marina y sus industrias de fabricación de equipos relacionados, la plancha de acero resistente al crecimiento de grietas por fatiga, tiene una prometedora perspectiva de mercado.

Unidad: Porcentaje en peso

Tabla 1

Muestra de acero	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Ti	Nb	N	Ca
Ejemplo 1	0,04	0,63	1,30	0,011	0,0014	/	/	/	0,008	0,022	0,0033	0,0040
Ejemplo 2	0,06	0,40	1,45	0,009	0,0030	0,10	0,15	/	0,01	0,015	0,0026	0,0030
Ejemplo 3	0,05	0,53	1,36	0,013	0,0010	0,30	0,25	/	0,015	0,019	0,0040	0,0025
Ejemplo 4	0,07	0,45	1,60	0,008	0,0012	/	0,30	0,06	0,018	0,030	0,0031	0,0017

Tabla 2

Muestra de acero	Temperatura de calentamiento del desbaste plano (°C)	Razón de reducción total en la laminación de la plancha de acero	Procedimiento de laminación en la primera etapa (laminación normal)	Procedimiento de laminación en la segunda etapa (laminación controlada sin recristalización)			
				Temperatura de laminación de inicio (°C)	Tasa de reducción pasada mínima (%)	Tasa de reducción acumulada (%)	Temperatura de laminación de acabado (°C)
Ejemplo 1	1050	11	Tras la finalización de la desfosforación del desbaste plano, laminación continua hasta un grosor de mantenimiento de temperatura	840	8	80	790
Ejemplo 2	1100	6,3	Tras la finalización de la desfosforación del desbaste plano, laminación continua hasta un grosor de mantenimiento de temperatura	830	7	75	800
Ejemplo 3	1080	6,7	Tras la finalización de la desfosforación del desbaste plano, laminación continua hasta un grosor de mantenimiento de temperatura	820	7	67	780
Ejemplo 4	1110	5,0	Tras la finalización de la desfosforación del desbaste plano, laminación continua hasta un grosor de mantenimiento de temperatura	790	8	60	770

Tabla 3

Muestra de acero	Procedimiento de enfriamiento controlado			Procedimiento de enfriamiento lento Temperatura/tiempo	Detección de defectos UT
	Temperatura de enfriamiento de partida (°C)	Velocidad de enfriamiento (K/s)	Temperatura de detención de enfriamiento (K)		
Ejemplo 1	770	25	873	365°C x 24 horas	JB/T 4730 I
Ejemplo 2	790	18	823	370°C x 24 horas	
Ejemplo 3	770	15	773	375°C x 24 horas	
Ejemplo 4	760	12	723	325°C x 36 horas	

Tabla 4

Muestra de acero	Grosor (mm)	Re/ Rp 0,2 Mpa	Rm Mpa	δ %	Trabajo de impacto transversal en la plancha de acero Akv (-40°C)/(J)	Soldabilidad (entrada de calor: 100-125 kJ/cm)		Propiedad de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga da/dN (mm/número) En las condiciones de ΔK = 8 Mpa·m ^{1/2}
						Temperatura de precalentamiento (°C)	Trabajo de impacto de HAZ Akv (-40°C)/(J)	
Ejemplo 1	20	455	563	26	159, 378, 368; 368	0	196, 263, 206; 222	1,2 x 10 ⁻⁸
Ejemplo 2	35	462	557	25	335, 360, 365; 353	0	221, 187, 165; 188	1,5 x 10 ⁻⁸
Ejemplo 3	45	435	566	27	322, 357, 356; 345	0	199, 145, 161; 168	2,3 x 10 ⁻⁸
Ejemplo 4	60	476	551	25	306, 301, 290; 299	0	202, 124, 173; 166	1,7 x 10 ⁻⁸

REIVINDICACIONES

1. Plancha de acero que tiene excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga, siendo los componentes de la plancha de acero en porcentaje en peso:
- 5 C: 0,040-0,070%,
- Si: 0,40-0,70%,
- 10 Mn: 1,30-1,60%,
- P ≤ 0,013%,
- 15 S ≤ 0,003%,
- Cu: ≤ 0,30%,
- Ni: ≤ 0,30%,
- 20 Mo: ≤ 0,10%,
- Ti: 0,008-0,018%,
- 25 Nb: 0,015-0,030%,
- N: ≤ 0,0040%,
- Ca: 0,0010-0,0040%,
- 30 y siendo el resto Fe e inclusiones inevitables; teniendo que satisfacer el contenido de los elementos anteriores todas las relaciones siguientes:
- [%C] x [%Si] está en un intervalo de desde 0,022 hasta 0,042;
- 35 la razón Ca/S está en un intervalo de desde 1,0 hasta 3,0 y $Ca \times S^{0,28} \leq 1,0 \times 10^{-3}$;
- en donde la microestructura de dicha plancha de acero es una estructura de fase doble de ferrita + bainita y tiene un tamaño de grano promedio de 10 μm o menos; y
- 40 en donde dicha plancha de acero tiene una resistencia mecánica al alargamiento ≥ 385 MPa, una resistencia mecánica a la tracción de 520-630 MPa, un solo valor de energía de impacto de Charpy a -40°C ≥ 80 J, y $da/dN \leq 3,0 \times 10^{-8}$ en las condiciones de $\Delta K = 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.
2. Método para fabricar la plancha de acero que tiene excelente resistencia al crecimiento de grietas por fatiga según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende las etapas siguientes:
- 45 1) fundición y colada
- fundir y colar según los componentes descritos en la reivindicación 1 para formar un desbaste plano;
- 50 2) calentamiento de desbaste plano: calentar a una temperatura de calentamiento de entre 1050°C y 1130°C;
- 55 3) laminación: la razón de compresión total de la plancha de acero, es decir, grosor del desbaste plano/grosor de la plancha de acero terminada, ≥ 4,0;
- la primera etapa es una laminación normal, en la que se lleva a cabo laminación incesante continua dentro de la capacidad de laminación de un tren de laminación, garantizando que se produzca la recristalización en el desbaste plano de acero deformado, refinando los granos de austenita;
- 60 la segunda etapa se lleva a cabo usando laminación controlada sin recristalización, controlándose la temperatura de laminación de partida a 780-840°C, siendo una tasa de reducción de pasada de laminación ≥ el 7%, siendo una tasa de reducción acumulada ≥ 60% y siendo una temperatura de laminación de acabado de 760-800°C; y
- 65

4) enfriamiento

someter a enfriamiento acelerado tras la finalización de la laminación controlada, siendo una temperatura de enfriamiento de partida de la plancha de acero de 750-790°C, siendo una tasa de enfriamiento $\geq 6^\circ\text{C/s}$ y siendo una temperatura de detención de enfriamiento de 400-600°C, en donde la tasa de enfriamiento y la temperatura de detención de enfriamiento satisfacen la siguiente relación: $\{([\%C] + 3,33[\%Nb]) \times [\%Si]\} \times V_{\text{tasa de enfriamiento}}/T_{\text{detención de enfriamiento}}$ se controla en un intervalo de $1,15 \times 10^{-4}$ a $2,2 \times 10^{-3}$, en donde $V_{\text{tasa de enfriamiento}}$ es una tasa promedio de enfriamiento acelerado en un procedimiento de laminación controlada y enfriamiento controlado, en unidad K/s, y $T_{\text{detención de enfriamiento}}$ es una temperatura de detención de enfriamiento acelerado en un procedimiento de laminación controlada y enfriamiento controlado, en unidad K; y entonces dejar que la plancha de acero se enfríe por aire hasta $350^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C}$ de manera natural, seguido por un procedimiento de enfriamiento lento en el que la plancha de acero se mantiene a una temperatura durante al menos 24 horas en el que la temperatura de la superficie de la plancha de acero es mayor de o igual a 300°C .

5

10

15

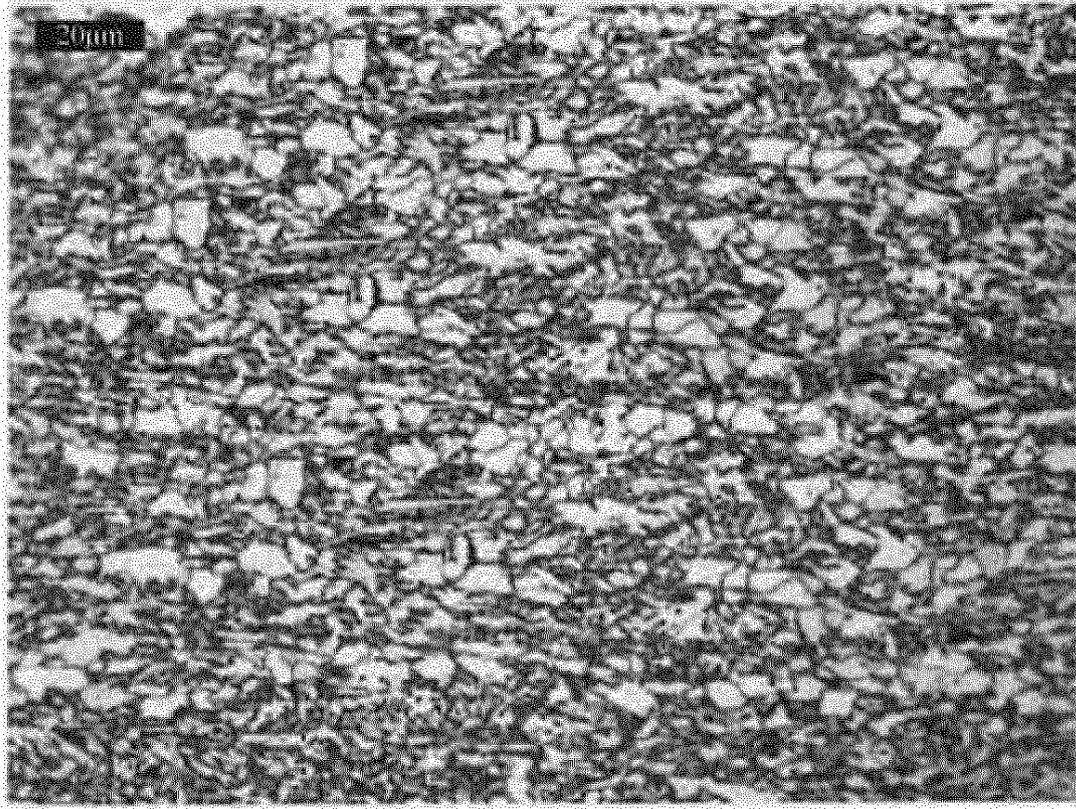


Fig. 1